

샌프란시스코 지진의 교훈

이 한 선*

1. 머리말

태평양에서 금문교를 입구로 하여 굽어 들어온 만을 사이에 두고 샌프란시스코를 마주 보고 있는 버클리시(그림1)에 1983년 7월부터 1989년 6월까지 6년동안 거주하면서 내진구조공학을 전공한 바 있는 필자에게 지난 10월 17일의 샌프란시스코의 지진은 매우 감회가 깊은 사건이 아닐 수 없었다.

그곳에 사는 동안 여러번 작은 지진을 경험해 보았고 또 귀국하기 전에도 조만간 큰 지진이 샌프란시스코만 근교에 일어날 것이라는 경고를 수없이 있었기 때문이다.

특히 이번이 가장 인명피해가 많이 난 I-880 3층고가 고속도로는 버클리시와 남쪽으로 인접한 오클랜드 시에 위치한 것으로 필자가 오클랜드 시내 한국식당에 가끔 들릴 때면 반드시 거쳐 지나던 길이었던 관계로 더욱 그 피해 참상이 피부에 와 닿는 듯하다.

지진이 아주 드문 우리나라에서는 사실 이러한 외국의 지진이 타산지석으로 여겨질 수도 있겠으나 일단 한번 큰 지진이 일어났을 경우 미리 대비책을 세워둔 경우와 그렇지 않은 경우 사이에는 얼마나 큰 차이가 있는가를 이번의 지진피해와 83년전의 것 즉 1906년의 샌프란시스코 지진피해를 비교함으로써 밝히고자 한다.

2. 샌프란시스코 지진의 지질학적 배경

미국 서해안 캘리포니아 주 서해안을 따라 San Andreas라는 단층이 북미주 plate와 태평양 plate 사이에 위치하여(그림2) 태평양 plate가 북쪽으로 북미주 plate가 상대적으로 남쪽으로 수평이동하는 것으로 알려져 있다.

캘리포니아 지진의 발생 메카니즘은 대체로 그림3에서 보는 바와 같이 rebound 이론에 의하여 설명되고 있다. 즉, San Andreas 단층을 경계선으로 하여 매년 태평양판이 약 5cm정도 북쪽으로 이동하면서 그림3의 상태1에서 상태2와 같이 단층지역에 전단변형에 의한 에너지가 축적되었다가 어떤 시점에 단층의 전단 능력이 더이상 이를 지탱할 수 없게 되었을 때 갑자기 단층에 균열이 일어나면서(상태3) 그동안 축적된 에너지가 발산되어 퍼져나가는 현상이 지진이다.

1906년 샌프란시스코 지진시 최대 6m까지의 전단변위가 약 260마일에 걸친 San Andreas 단층에 일어났으며 지금도 항상 인접한 두개 plate가 상호 움직이고 있는 것이 항공사진으로 매년 확인되고 있다. 따라서 버클리대학의 B.Bolt 교수에 따르면 이러한 이동이 계속될 경우 약 3천만년 후에는 로스엔젤레스가 샌프란시스코의 근교에 위치하게 될 것이라고 까지 말하고 있다.

3. 1906년 샌프란시스코 지진

인구 약 40만의 도시, 1840년대의 골드러쉬 이래

* 정회원, 대한주택공사 주택연구소, 선임연구원, 공학박사

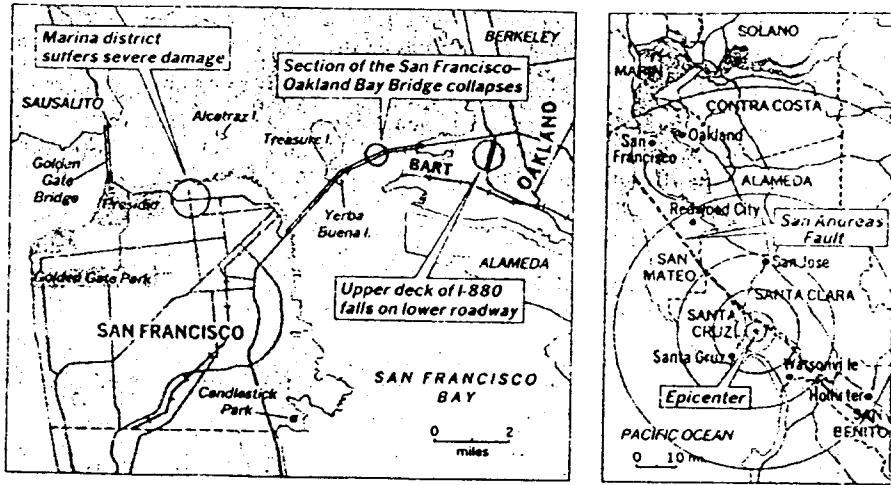


그림1. 샌프란시스코 근교 및 San Andreas 단층에 관한 지도

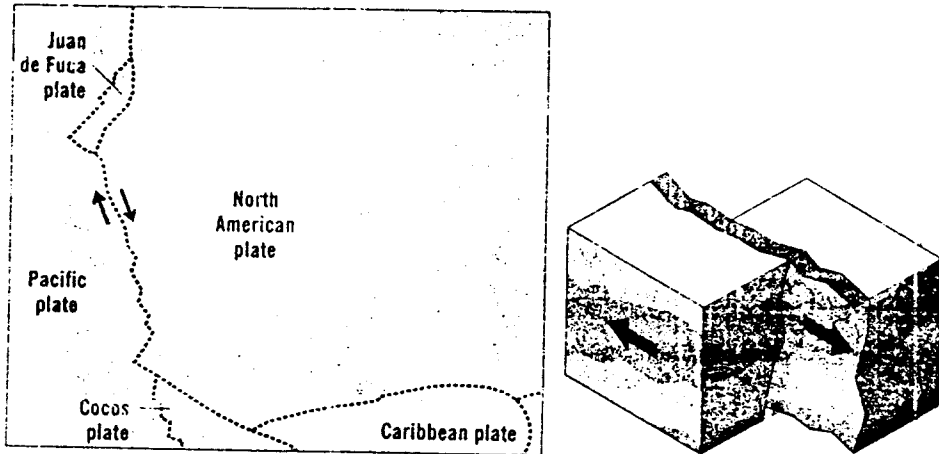
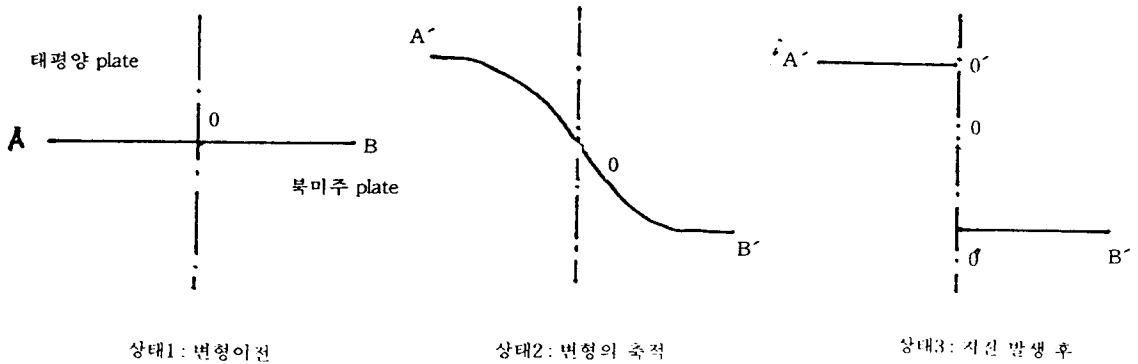


그림2. 태평양 plate와 북미주 plate의 지형학적 거동



상태1: 변형이전

상태2: 변형의 축적

상태3: 지진 발생 후

그림3. Rebound 이론에 의한 단층의 수평이동

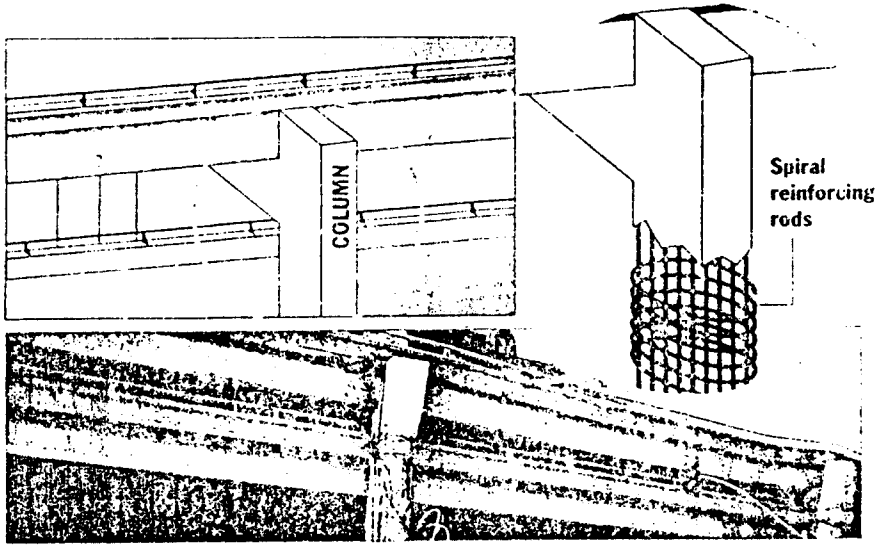


그림4. I-880 고가도로 붕괴 및 가능했던 내진 보강 방법

로 급성장하여 20세기 들어서면서, 뉴욕, 파리와 맞먹는 국제적 지위를 자랑하던 샌프란시스코는 1906년 4월 17일 새벽5시 12분을 기하여 하루아침에 초토화되어 버리고 말았다. 하늘을 흔드는 굉음과 함께 땅이 좌우 상하로 곡예를 치기 시작한 것이었다. 1분5초에 걸친 두 단계의 지진은 새벽 단잠을 자던 시민들에게 벽 마감재 부스러기, 흩어지는 벽돌, 깨지는 접시와 넘어지는 벽과 지붕을 안겨주었다.

또한 도시가스공장이 폭발함으로써 또 한번 도시를 뒤흔들어 놓았다. 설상가상으로 상수도 주관이 터짐으로써 많은 주민들이 줄지에 물벼락을 맞기도 하였다. 나중에 Richter계측법이 생겨나고 나서 전문가들은 지진이 진도 8.3의 것으로 평가하였다.

그 당시 지진에 대해서 무방비의 상태였던 샌프란시스코는 지진이 발생후 어떤 일이 어느 정도로 일어났는게 전체 재해상황에 대해서 감을 잡고 통제를 할 수 있는 사람은 아무도 없었다. 한 목격자의 말에 의하면 사건발생 후 처음 주민들은 얼빠진 사람들처럼 말없이 때를 지어 몰려 다니며 우왕좌왕할 뿐이었다고 한다.

실제로 많은 건물들이 약간의 손상만 입었을 뿐 대부분 지진을 잘 이겨냈다. 그러나 주된 피해는 화재로부터 왔다. 즉 업드러진 화로로부터 불

은 삼시간에 수많은 목조 건물을 불태우기 시작하였다. 문제는 수백명의 잘 훈련된 소방관들이 무용지물이 되어 버리고 말았던 것이다.

파괴된 주 상수관은 시 전체로 하여금 화재진압에 필요한 물을 공급할 수 없게 하였고 옆천데 덮친격으로 샌프란시스코 특유의 강한 바다 바람은 화재를 더욱 부채질 하였다. 이로 인해 약 2500명의 인명손실 뿐만 아니라 전 샌프란시스코가 초토화 되는 경제적 피해를 보았다.

4. 1989년도 샌프란시스코 지진

I-880 고가도로의 붕괴, Bay Bridge의 경간추락 등 극소수 붕괴 사고들을 제외하고 바다밑으로 터널을 통하여 만을 가로지르는 고속전철(BART)이나 샌프란시스코 시내에 밀집한 초고층 건물들이 거의 피해를 입지 않았다는 점에서 캘리포니아주가 오랫동안 큰 지진에 대비하여 투자한 에너지와 자원이 대체로 그 효력을 나타내었다고 말할 수 있다.

1971년 San Fernando 지진 후의 내진설계 기준이 강화되었고 기존건물이 보강되는 한편 비상시에 대비한 상수공급과 통신에 관한 시설이 확충되어 있었으며 소방서와 경찰서 등에서는 정기적으로 지진대피 및 구조연습을 행하였고 지역 주민들

도 스스로 지진에 대한 대책을 조직화시켜 놓았었다. 아마도 지진의 피해를 근원적으로 감소시키는 데 있어서 매우 큰 기여를 한 것은 가스 및 전력공급회사인 PG & E의 즉각적인 전력 및 가스공급 중단조치라고 할 수 있겠다. 또한 전화번호부에 주어진 지진시 안전대책에 대한 상세한 지침도 제대로 대비하지 못한 주민들에게 쉽게 필요한 정보를 제공함으로써 피해감소에 크게 기여하였다.

이번 지진에 대한 전반적인 대응이 성공적이었다고 평가될 수 있지만 일부 기 언급된 붕괴사고도 주정부에서 이미 오래전 지진시 그 붕괴 위험성이 지적되었으나 실제적인 보수 및 보강이 제때에 뒤따르지 않음으로써 빚어진 것이었다. 대표적인 예로서 I-880 고가도로의 붕괴는 그림(4)에서 보는 바와 같이 간단한 나선형 철근의 보강만으로도 충분히 방지될 수 있었다. 목격담에 의하면 최상층 고가상판은 지진의 발생과 함께 진동에 의한 주기적 거동이었다기 보다 몇개 고가경간이 일체가 되어 한쪽 방향으로 기울어짐으로써 급작스럽게 붕괴되었다는 것이다. 그림(4)의 파괴된 기둥으로부터 이 기둥의 설계시에 연성(ductility)의 확보를 위한 아무런 조치도 없었다는 것을 알 수 있다. 기둥의 연성 확보를 위해 나선형 철근을 사용한 콘크리트 구축기법은 이미 내진공학의 상식으로 알려져 있는 것이다. 또한 아이로니칼 하게도 고가도로를 보강하는 의도로 강재 케이בל을 사용하여 고가도로 상판의 일체성을 증가시킨 것이 오히려 여러 경간이 일체가 되어 무너지게 함으로써 결과적으로 붕괴를 대형화시키는 역효과를 가져왔다고 볼 수 있다.

이번 지진은 그 진도가 Richter 척도로 6.9이었

으며 약 250명의 인명 손실과 십억불 이상의 재산 피해를 가져왔다고 한다.

5. 맺는말

1989. 10. 17의 샌프란시스코 지진은 그 크기에 있어서 지진학자(Seismologist)들이 지금까지 예상했던 만큼의 대 지진은 아니었다. 그러나 이번 지진을 통하여 다음의 몇가지 중요한 교훈을 배울 수 있었다.

첫째, 지진이 작용할 때 구조물의 중요부분에서의 철근상세등이 어떻게 전체 거동의 안전성에 영향을 미치는가를 확실히 가르쳐 주었다고 하겠다. 즉, 확률적으로 매우 낮으나 한번 일어나면 큰 하중을 구조물에 줄 수 있는 지진에 대해서는 구조설계시 특히 탄성설계 방법을 사용할 경우 구조해석결과에 따른 최소 철근량의 공급만이 주요 관심사가 아니라 최대 종국하중이 작용했을 때 전체 구조물이 안정적인 이력거동을 나타내도록 보와 기둥의 접합부 상세라든지 기둥의 대근상세등에 특별히 세밀한 배려를 하여야 할 것이다.

둘째, 우리나라에서는 1988. 7. 1의 내진구조 설계 기준제정 이후로 아직 후속하여 기타 관련 규정의 제정이 없는 것이 눈에 뜨인다. 이미 언급한 바와 같이 대부분의 경우 지진에 따른 건물의 붕괴 자체에 의한 피해보다 후속하여 산발적으로 발생하는 가스 폭발이나 화재에 대하여 신속히 대응하지 못하여 입는 피해가 훨씬 클 수가 있으므로, 도시가스 배관설비, 전력공급 라인에 따른 제반 설비등에 대해서도 체계적인 내진설계가 이루어질 수 있도록 해야 하겠다.

(美 주간지 Times(Oct. 30. 1989)에서 발췌 인용)